

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0159818  
(43) 공개일자 2024년11월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H10N 70/00 (2024.01) H10N 70/20 (2023.01)  
(52) CPC특허분류  
H10N 70/041 (2024.05)  
H10N 70/021 (2024.05)  
(21) 출원번호 10-2024-0149752(분할)  
(22) 출원일자 2024년10월29일  
심사청구일자 2024년10월29일  
(62) 원출원 특허 10-2021-0150639  
원출원일자 2021년11월04일  
심사청구일자 2021년11월04일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
조만호  
서울특별시 강남구 선릉로 8(개포동 140) 래미안  
블레스티지 211동 1101호  
이창우  
서울특별시 양천구 목동중앙본로7가길 48, 태진하  
우스 203호(목동)  
임현욱  
서울특별시 송파구 문정로 197(오금동) 삼성아파  
트 1동 101호  
(74) 대리인  
특허법인다나

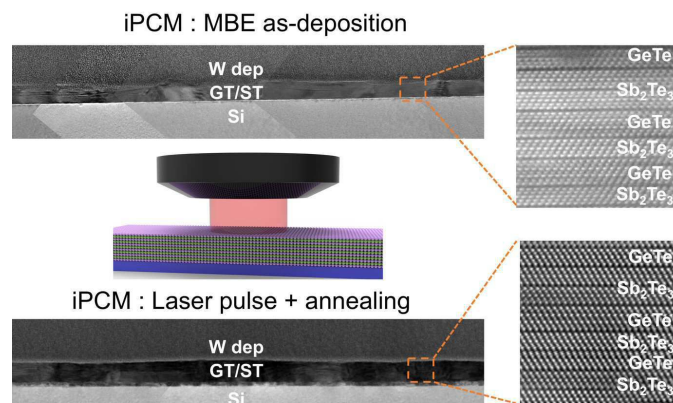
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 계면 상변이 물질의 결맞음을 개선시키는 방법

## (57) 요약

본 발명은 계면 상변이 물질의 결맞음(coherence)을 개선시키는 방법에 관한 것으로, 계면 상변이 물질에 광학 레이저를 조사하는 단계;를 포함한다. 본 발명에 따르면, 계면 상변이 물질의 결맞음을 개선시킬 수 있고, 이에 따라 메모리 소자의 높은 재현성을 구현하여 신뢰성을 확보할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**H10N 70/231** (2023.02)

**H10N 70/8828** (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711133832
과제번호	10080625
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업기술혁신사업
연구과제명	[RCMS]초고속/저에너지 멀티레벨 메모리/시냅스 소자 개발(5/5)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>의 계면 상변이 물질(interfacial Phase Change Material, iPCM)에 자외선 레이저를 단위 면적당 10 내지 30 mJ/cm<sup>2</sup>로 조사하는 단계; 및

자외선 레이저 조사된 GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>의 계면 상변이 물질에 150도 내지 300도의 온도로 10분 내지 100분의 시간 동안 열을 가하는 어닐링 단계;를 포함하고,

상기 계면 상변이 물질은 분자선 에피택시(Molecular Beam Epitaxy, MBE) 방법으로 증착된 것인,

계면 상변이 물질의 결맞음(coherence)을 개선시키는 방법으로,

상기 계면 상변이 물질은 레이저 조사 단계로 인해 결정질 상태의 고저항 상태가 된 후,

어닐링 단계를 거쳐 결맞음(coherence)이 개선된 저저항 결정질 상태로 상변화하는 과정을 거침으로써, 계면 상변이 물질의 결맞음(coherence)을 개선시키는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자외선 레이저는 KrF 레이저인 계면 상변이 물질의 결맞음(coherence)을 개선시키는 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 자외선 레이저 펄스의 주기(rate)는 1 ~ 1000 Hz인 계면 상변이 물질의 결맞음(coherence)을 개선시키는 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 광학 레이저 조사 단계는 계면 상변이 물질에 KrF 레이저를 단위 면적당 10 내지 30 mJ/cm<sup>2</sup>로 1회 인가하는 것인 계면 상변이 물질의 결맞음(coherence)을 개선시키는 방법.

#### 청구항 5

제1항의 방법으로 계면 상변이 물질의 결맞음을 개선시키는 단계; 및 상기 결맞음이 개선된 계면 상변이 물질 상에 전극층을 증착하는 단계를 포함하는 상변이 메모리 소자의 제조 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 계면 상변이 물질의 결맞음을 개선시키는 방법, 이러한 방법으로 상변이 메모리 소자를 제조하는 방법 및 이로부터 제조된 상변이 메모리 소자에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 메모리 소자 기술의 급격한 변화로 인해 디램(DRAM), 낸드 플래시(NAND flash) 등 기존 메모리 소자들의 성능은 한계에 도달하였고 시장의 요구치를 충족시키기에는 미흡한 상황이다. 이를 대체할 새로운 방식의 차세대 메모리 소자 개발이 필요한 시점이며, ReRAM, PCRAM, STT-RAM 등 다양한 방식의 비휘발성 메모리들이 그 후보로 떠오르고 있다. 이 중 상변화 메모리 소자(PCRAM, Phase-change random access memory)의 경우 상변화를 통해

발생하는 저항 변화를 이용한 메모리 소자로써, 차세대 메모리 소자로 주목받고 있다. PCRAM 은 빛 또는 전기적 펄스를 인가함에 따라 원자들이 용융된 이후 냉각 속도에 따라 결정질(낮은 저항, 셋(set)) 혹은 비결정질(높은 저항, 리셋(reset))로 상변화를 일으키게 된다. 하지만, PCRAM 에서 비결정질과 결정질 사이의 상변화를 통한 저항 변화 메커니즘은 리셋 전류가 높다는 단점이 있다.

[0003] 대표적인 PCRAM 물질로 알려진  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST)의 경우 상대적으로 낮은 결정화 온도를 가져 동작 시에 이웃한 셀의 열적 간섭을 받게 되며, 용융 온도가 높아 비결정화에 필요한 리셋 펄스는 높은 전압 값이 요구된다. 이로 인해 PCRAM 셀 설계 시에 독립된 구조를 고려해야 하고, 소모 전력에서도 손해를 보게 된다.

[0004] 최근 계면 상변이 물질(interfacial phase change material, iPCM) 구조의 칼코지나이드계 재료에서 이러한 문제의 해답을 찾기 위한 연구가 다방면으로 진행 중이다. 계면 상변이 물질은 결정상에서 결정상으로의 상변화가 가능하면서 메모리 소자로 활용될 수 있는 큰 저항 차이를 얻을 수 있다. 그러나 위와 같은 장점에도 불구하고, 계면 상변이 물질은 계면에서의 높은 결맞음(Coherence)을 확보하기 어려움을 가지고 있다. 이에 따라 계면 상변이 물질을 제조하는 기존 방식인 스퍼터링, 분자선 에피택시(MBE) 및 펄스 레이저 증착(PLD) 성장에서 높은 난이도 및 높은 장비 스펙이 요구되었다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상기와 같은 상변화 메모리 소자에 사용되는 계면 상변이 물질의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 계면 상변이 물질의 결맞음(Coherence)을 개선하고 메모리 소자의 높은 재현성을 구현하여 신뢰성을 확보할 수 있는 방법을 제공하고자 한다.

[0006] 또한, 본 발명은 상기 방법을 이용하여 상변이 메모리 소자를 제조하는 방법 및 이로부터 제조된 상변이 메모리 소자를 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 본 발명자들은 결맞음을 확보하지 못한 기존의 계면 상변이 물질에서 광학 레이저 조사 후처리를 통하여 계면 상변이 물질의 결맞음을 확보하고 메모리 소자 특성을 향상시킬 수 있음을 확인하여 본 발명을 완성하였다.

[0008] 본 발명은 계면 상변이 물질에 광학 레이저를 조사하는 단계;를 포함하는 계면 상변이 물질의 결맞음(coherence)을 개선시키는 방법을 제공한다.

[0009] 또한, 본 발명은 상기 방법을 통해 결맞음이 개선된 계면 상변이 물질을 이용하여 상변이 메모리 소자를 제조하는 방법과 이에 따라 제조된 상변이 메모리 소자(PCRAM)를 제공한다.

## 발명의 효과

[0010] 본 발명은 높은 난이도를 요구하는 계면 상변이 물질의 제조 방법에 있어서 광학 레이저 처리를 통해 계면 상변이 물질의 표면의 거칠기와 결맞음을 개선시킬 수 있다.

[0011] 또한, 이러한 방법은 대면적 광학 레이저 조사가 가능하고, 높은 신뢰성 및 재현성을 갖는 상변이 메모리 소자(PCRAM)를 제공할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은  $\text{GeTe}/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  초격자 구조의 측면(Cross-sectional)에서 바라본 전자현미경(TEM) 이미지와, 광학 레이저 펄싱의 모식도를 나타낸 단면도이다.

도 2는 본 발명의 레이저 조사 유무에 따른 X-Ray 반사율(XRR) 측정 데이터이다.

도 3은 본 발명의 레이저 조사 및 어닐링 유무에 따른 X-Ray 반사율(XRR) 측정 데이터이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른  $\text{GeTe}/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  메모리 소자의 사이클 특성을 측정한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 상변이 메모리 소자의 제조 방법을 나타낸 모식도이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다.
- [0014] 한편, 본원에서 개시되는 각각의 설명 및 실시형태는 각각의 다른 설명 및 실시 형태에도 적용될 수 있다. 즉, 본원에서 개시된 다양한 요소들의 모든 조합이 본 발명의 범주에 속한다. 또한, 하기 기술되는 구체적인 서술에 의하여 본 발명의 범주가 제한된다고 할 수 없다.
- [0015] 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0016] 본 발명은 계면 상변이 물질(interfacial Phase Change Material, iPCM)의 결맞음(Coherence)을 개선시키는 방법을 제공한다.
- [0017] 본 발명에서 “결맞음”은 칼코지나이드계 원자들을 포함하는 계면 상변이 물질에서 원자들의 주기성과 균일성을 의미하는 것으로, 이는 X선 반사율 그래프(X-ray reflection)에서 반복적인 간섭무늬(fringes)의 유무와 이의 정도를 통해 확인할 수 있다. 또한, 결맞음이 향상되었다는 것은 표면 거칠기도 개선되었음을 의미한다.
- [0018] 본 발명에서 “계면 상변이 물질(Interfacial Phase Change Material, iPCM)”은 초격자 상변이 물질, 초격자 상변화 물질로도 불리며, 합금 구조가 아닌 단상(single phase)의 상변이 물질이 번갈아 증착된 형태를 나타내는 것으로, 고저항의 결정질과 저저항의 결정질 상태를 오가면서 동작하며, 대표적인 계면 상변이 물질은  $\text{GeTe/Sb}_2\text{Te}_3$ 가 있다.
- [0019] 본 발명에 따른 결맞음 개선 방법은, 계면 상변이 물질에 광학 레이저를 조사하는 단계를 포함한다.
- [0020] 초격자(계면) 구조가 아닌 합금 형태의 상변이 물질의 경우 결정질의 셋(set)과 비결정질의 리셋(reset)으로 바뀌기 위하여 높은 전류 값을 요구하지만, 본 발명과 같은 초격자 구조의 상변이 물질은 결정질의 셋(set)사이의 고저항(HRS)과 저저항(LRS)을 오가고, HRS와 LRS 간의 에너지 차이가 작기 때문에, 합금 형태보다 낮은 전류에서도 작동 가능하고 스위칭 에너지가 낮다는 장점이 있다.
- [0021] 다만, 계면 상변이 물질을 증착시, 핵 생성 우세 성장(Nucleation Dominant)으로 원자들의 결정화가 진행되며 이 과정에서 표면의 거칠기 및 결맞음이 저하되었다. 이에, 본 발명에 따라 계면 상변이 물질에 광학 레이저를 조사하면 계면 상변이 물질이 고저항 상태로 상변화하면서 결맞음이 개선되었다.
- [0022] 본 발명에서 계면 상변이 물질은 칼코지나이드계 물질인 제1층과 제2층이 교대로 증착된 형태일 수 있다.
- [0023] 본 발명에 따른 제1층과 제2층이 교대로 증착된 계면 상변이 물질에서 제1층은 홀수층이고 제2층은 짝수층일 수 있다. 또한 제1층 및 제2층은 서로 다른 칼코지나이드계 물질로 구성될 수 있다. 칼코지나이드계 물질은 S, Se, 및 Te의 칼코겐 원소를 포함하는 화합물로서, 금속 칼코지나이드계 물질 또는 비금속 칼코지나이드계 물질일 수 있다. 칼코지나이드계 물질은 Ge, Te, Sn, Sb, As, 및/또는 S을 포함할 수 있고, 구체적으로는  $\text{GeTe}$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{SnTe}$ 를 포함할 수 있다.
- [0024] 보다 구체적으로 계면 상변이 물질의 제1층은 Sb와 Te를 포함할 수 있고, 제2층은 Ge와 Te를 포함할 수 있다. 바람직하게는 계면 상변이 물질층의 제1층은  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 층이고, 제2층은  $\text{GeTe}$ 층이며, 이러한 제1층과 제2층이 교대로 증착된 형태를 포함할 수 있다.
- [0025] 추가적으로, 본 발명의 계면 상변이 물질은 칼코지나이드계 물질 외에 다른 원자가 도핑된 형태를 나타낼 수 있다.
- [0026] 본 발명의 계면 상변이 물질에서 제1층 및 제2층의 두께는 각각 0.5nm 내지 3nm 일 수 있다. 또한, 제1층과 제2층이 교대로 증착된 계면 상변이 물질의 두께는 10 내지 100nm 일 수 있다.
- [0027] 본 발명에 따른 계면 상변이 물질을 증착하는 방법은 스퍼터링 방법, 분자선 에피택시 방법, 펄스 레이저 증착(Pulse Laser Deposition, PLD) 등 당업계에서 알려진 계면 상변이 물질을 증착하는 방법이라면 제한없이 사용 가능하다. 바람직하게는 분자선 에피택시 방법으로 증착할 수 있다.
- [0028] 분자선 에피택시(molecular beam epitaxy, MBE) 방법은 진공상태의 기판에 분자선을 충돌시켜 단결정 박막을 성장시키는 것으로, 고진공실에 기판을 설치하고 여러 성분의 분자선 또는 원자선을 그 기판 위에 충돌시켜 원하

는 원자들을 증착시키는 방법이다. 여기서 원자들의 비율을 조절하기 위하여 PID 알고리즘을 사용할 수 있다.

- [0029] 계면 상변이 물질을 증착하기 위한 지지대 또는 기판은 사파이어( $Al_2O_3$ )기판, 탄화규소(SiC)기판, 질화갈륨(GaN)기판, ZnO기판, ZnMg기판, 또는 규소(Si) 기판일 수 있고, 바람직하게는 규소(Si) 기판일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0030] 본 발명에 있어서, 증착된 계면 상변이 물질에 광학 레이저를 조사하는 단계를 통하여 결맞음을 개선시킬 수 있다.
- [0031] 레이저 조사하는 방식은 당업계에서 알려진 레이저 조사 방식이라면 제한 없이 사용가능하다.
- [0032] 레이저 조사는 계면 상변이 물질에 직접적으로 조사할 수 있다. 본 발명에 따른 레이저의 파장은 100 내지 400nm 일 수 있으며, 자외선 레이저일 수 있다.
- [0033] 본 발명에 따른 레이저는 고에너지를 얻기 위하여 펄스형 레이저가 바람직하나 연속파 레이저도 사용될 수 있다. 펄스형 레이저의 경우 레이저 펄스의 길이(duration)은 수 fs 에서 수 s 일 수 있으며, 레이저 펄스의 주기(rate)는 1 ~ 1000 Hz 내에서 수행할 수 있다.
- [0034] 본 발명에 따른 레이저는 엑시머 레이저일 수 있고, ArF 레이저, KrF 레이저, XeCl 레이저, XeF 레이저 KrCl 레이저,  $CO_2$  레이저, Nd:YAG 레이저, 및 Ar 레이저로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상일 수 있으며, 바람직하게는 KrF 레이저일 수 있다.
- [0035] 본 발명의 바람직한 실시 양태에서, 상기 광학 레이저 조사 단계는 계면 상변이 물질에 KrF 레이저를 단위 면적당 10 내지  $30 \text{ mJ/cm}^2$ 로 1회 인가하는 것일 수 있다. 본 발명과 같이, 계면 상변이 물질을 증착한 다음 광학 레이저를 조사하면, 계면 상변이 물질을 구성하는 원자들의 위치 변화가 일어나면서 빈공간들이 생기게 되고, 그 과정에서 원자들의 결합 세기가 약해지게 된다. 또한, 광학 레이저 조사를 통해 에너지를 받은 원자들이 운동 에너지가 증가하여, 결맞음이 맞지 않았던 원자들이 결맞음이 맞도록 이동하게 됨으로써, 안정성이 높은 결맞음 형태로 변화하게 된다. 이에, 계면 상변이 물질을 증착한 다음 광학 레이저를 조사하는 방법을 통해 계면 상변이 물질의 결맞음을 개선시킬 수 있다.
- [0036] 본 발명에서 레이저 조사 단계는 계면 상변이 물질을 증착하는 단계 후에 수행될 수 있고, 상변이 메모리 소자를 제조할 때 계면 상변이 물질을 증착하는 단계와 전극층을 증착하는 단계 사이에 수행될 수 있다.
- [0037] 본 발명의 광학 레이저 조사 단계는 광학 레이저 조사 후 어닐링하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0038] 어닐링하는 단계는 150도 내지 300도의 온도로 10분 내지 100분의 시간동안 열을 가하는 단계를 포함할 수 있다. 어닐링하는 방식은 할로젠 램프를 활용하는 방법 일 수 있으나, 당업계에서 메모리 소자에서 어닐링하는 방식이라면 제한없이 사용가능하다. 레이저 조사 후 고저항 상태가 된 계면 상변이 물질을 어닐링 단계로 다시 저저항 상태인 원래의 결정성으로 되돌려도 레이저 조사에 의한 계면 상변이 물질의 개선된 결맞음을 그대로 가질 수 있다.
- [0039] 또한, 본 발명에 따라 계면 상변이 물질의 결맞음을 개선하는 방법을 통해 메모리 소자 성능이 향상된 상변이 메모리 소자를 제공할 수 있다.
- [0040] 이에, 본 발명은 상변이 메모리 소자의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따라 결맞음이 개선된 계면 상변이 물질 상에 전극층을 증착하는 단계를 포함하여 상변이 메모리 소자를 제조하는 방법을 제공한다.
- [0041] 즉, 본 발명의 상변이 메모리 소자의 제조 방법은 계면 상변이 물질을 기판상에 증착시키는 단계; 계면 상변이 물질에 광학 레이저를 조사하는 단계; 및 레이저가 조사된 계면 상변이 물질 상에 전극층을 증착하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0042] 본 발명에 따른 상변이 메모리 소자의 제조 방법은 도 4에 구체적으로 나타내었으며, 이를 참고하여 설명한다.
- [0043] 전극층은 W, TaN, TiN 등과 같이 전도성을 갖는 금속 물질로 형성될 수 있으며, 계면 상변이 물질로 전압 펄스를 인가하는 역할을 한다.
- [0044] 전극층은 본 발명에 따른 계면 상변이 물질의 양면에 증착된 제1전극과 제2전극을 포함할 수 있다. 제1전극과 제2전극은 수평방향으로 이격하여 배치할 수 있으며, 이들 사이에 계면 상변이 물질을 구비시킬 수 있다. 하지만 이는 예시적인 것에 불과하고, 제1전극과 제2전극의 방향, 형태, 사이즈는 다양하게 설정될 수 있다.



- [0045] 전극층에 의해 셋 동작을 위한 전압 펄스를 인가하면 계면 상변이 물질의 칼코지나이드계 원자, 특히 Ge 원자의 배열 위치가 변경되어 저저항성의 결정질 상태로 변화할 수 있다.
- [0046] 본 발명의 상변이 메모리 소자 제조 방법에서, 추가적으로, 포토리소그래피 단계 및 에칭 단계를 거쳐 상변이 메모리 소자를 최종적으로 제조할 수 있다.
- [0047] 또한, 본 발명은 상기와 같은 상변이 메모리 소자의 제조 방법에 따라 제조된 상변이 메모리 소자를 제공한다.
- [0048] 본 발명에 따른 상변이 메모리 소자는 광학 레이저 조사 단계를 거침으로써 저항층 역할을 하는 계면 상변이 물질이 개선된 결맞음을 나타내어, 결과적으로 메모리 소자의 작동에 있어서 높은 신뢰성과 재현성을 구현할 수 있다.
- [0049] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실시예 및 실험예를 제시한다. 그러나 하기의 실시예 및 실험예는 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것일 뿐, 하기 실시예 및 실험예에 의해 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니다.
- [0050] **[실시예]**
- [0051] **제조예 1- GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 계면 상변이 물질(iPCM)의 제조**
- [0052] Si 기판 상에 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 10nm를 시드층으로 성장시킨 후, 분자선 에피택시 방법으로 GeTe 1nm와 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 1nm를 교대로 쌓은 30nm 두께의 iPCM 박막을 수득하였다. 분자선 에피택시 방법은 진공 상태에서 iPCM을 구성하는 개별 원자들인 Ge, Te, Sb 공급원으로부터 분자선 또는 원자선을 발생시켜 기판위에 증착시키는 방법으로 진행하였으며, 여기서 원자 증착시 오차를 줄이기 위하여 PID 알고리즘을 함께 사용하여 제어하였다.
- [0054] **제조예 2 - 광학 레이저 조사된 iPCM 박막 제조**
- [0055] 제조예 1에 따라 수득된 iPCM 박막에 광학 레이저를 조사하였으며, 광학 레이저 조사 후의 iPCM 박막을 수득하였다. 레이저는 KrF 레이저(파장: 248nm)를 사용하였으며, 사용된 레이저의 특성은 하기와 같다:
- [0056] 펄스 주기: 1~50Hz,
- [0057] 조사 전력: 19mJ/cm<sup>2</sup>,
- [0058] 펄스길이: 25ns
- [0060] **실험예 1 - 결맞음 개선 평가**
- [0061] 본 실험에서는 제조예 1에 따라 증착된 GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>의 iPCM(광학 레이저 조사하지 않음)과 제조예 2에 따라 광학 레이저 조사한 iPCM 박막의 결맞음을 TEM 이미지와 XRR 그래프를 통해 확인하였다.
- [0062] 도 1의 상단에는 제조예 1에 따라 증착된 GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 초격자 구조의 측면(Cross-sectional)에서 바라본 전자현미경(TEM) 이미지를 나타내었고, 도 1의 하단에는 제조예 2에 따라 레이저 조사 및 어닐링을 진행한 경우의 GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>초격자 구조의 전자현미경(TEM) 이미지를 나타내었다.
- [0063] 또한, 도 1의 중간 부분에는 광학 레이저 펄싱의 단면도를 나타내었다. 해당 단면도에서, Ge, Sb, Te은 각각 초록, 보라, 노랑색에 해당되며, 광학 레이저 펄싱을 통해서 대면적으로 결맞음이 개선되었음을 시각적으로 나타내었다.
- [0064] 도 2는 광학 레이저 펄싱 과정의 유무에 따른 X-Ray 반사율 측정결과를 나타낸 그래프이다. 빨간색 선(MBE as-deposition)이 광학 레이저 펄싱 과정을 거치지 전이고, 검정색 선(Laser irradiated)이 광학 레이저 펄싱 과정을 거친 후의 측정 결과이다. XRR 그래프에서 간섭 무늬(fringe)가 선명해질수록 결맞음이 우수한 것이다. 도 2에서 확인할 수 있는 바와 같이, 광학 레이저 펄싱 과정을 거치지 전에는 간섭 무늬(fringe)가 형성되지 않았으나, 광학 레이저 펄싱을 거친 후에는 간섭 무늬(fringe)가 형성되었음을 확인할 수 있다. 이에 따라, 레이저 펄싱을 통해 iPCM 구조에서의 개선된 결맞음을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

[0065] 또한, 제2에 따라 광학 레이저 조사한 GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> iPCM 박막에 어닐링을 실시하였다. 이는 레이저 조사로 iPCM 박막이 고저항(HRS) 상태로 된 후, 어닐링으로 저저항(LRS) 상태가 된 경우에도 레이저 조사에 의해 개선된 결맞음이 그대로 유지되는지 확인하기 위함이다.

[0066] 구체적으로, 레이저를 조사한 GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> iPCM 박막에 1분당 10도씩 상승하여 섭씨 200도의 온도에 도달한 후 30분 동안 유지하는 방법으로 열을 가하였고, 이에 대한 X-Ray 반사율을 측정하였으며, 그 결과를 도 3에 나타내었다.

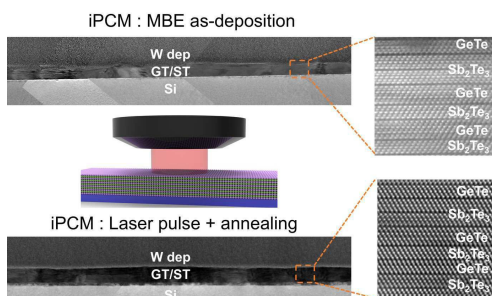
[0067] 도 3에서 빨간색 선(MBE as-deposition)이 광학 레이저 펄싱과 어닐링을 거치기 전이고, 검정색 선(Laser pulse + annealing)이 광학 레이저 펄싱 및 어닐링 과정을 거친 후의 측정 결과로, 이 또한 도 2와 마찬가지로, 후자의 경우에서 간섭 무늬(fringe)가 형성되어 개선된 결맞음을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

## [0069] 실험예 2- 사이클 특성 평가

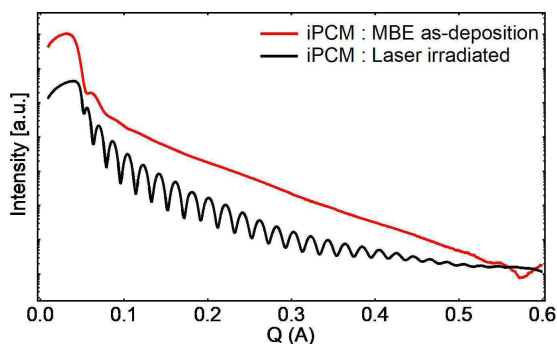
[0070] 도 4는 GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> iPCM 박막을 포함하는 상변이 메모리 소자를 제조한 후, 사이클 특성을 확인한 그래프이다. 도 4의 왼쪽 데이터는 광학 레이저 펄싱 과정을 거치기 전이고, 도 4의 오른쪽 데이터는 광학 레이저 펄싱 과정을 거친 후의 측정 결과이다. 도 4에서 확인할 수 있는 바와 같이, 광학 레이저 펄싱 과정 전에는 결맞음이 좋지 않아서 상태(state)들이 명확하게 구분되어 있지 않은 결과를 나타내었다. 하지만, 광학 레이저 펄싱을 거친 후에는 결맞음이 개선되었고 이로부터 상변이 메모리 소자의 저항 상태(state)들을 명확하게 구분할 수 있게 되었으며, 이에 따라 메모리 소자에 있어 높은 재현성 및 신뢰성을 가질 수 있다.

### 도면

#### 도면1

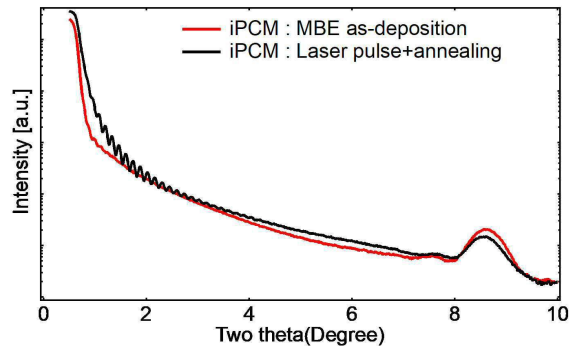


#### 도면2

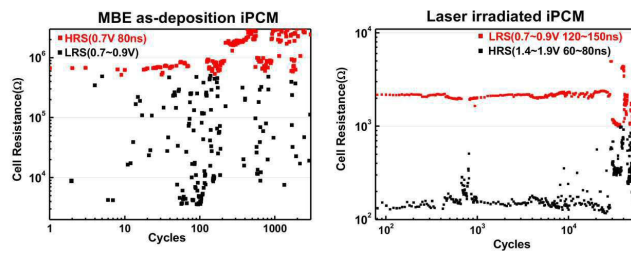




도면3



도면4



도면5

